不同限饲方法对爱拔益加肉鸡生长性能、屠宰性能及骨骼性状的影响[1]

杨苏亮　李　敏　夏梦芳　商艳红　陈　宇　路兵龙　黄艳群　陈　文*

（河南农业大学饲料营养河南省工程实验室，河南农业大学国家家养动物种质资源平台，郑州 450002）

摘　要：本试验旨在研究不同限饲方法对爱拔益加（AA）肉鸡生长性能、屠宰性能及骨骼性状的影响。试验选用 80 只 7 日龄的 AA 肉鸡，随机分成 4 组：对照组、料量限饲组、能量限饲组和蛋白质限饲组，每组 20 只鸡。限饲 14 d（21 日龄）、补偿生长 21 d（42 日龄）后每组分别屠宰 8 只，取其胸肌、腿肌、腹脂、心脏、肝脏、脾脏、胸腺、法氏囊、骨骼等组织并称重，以及测量骨骼的长度和直径。结果表明：1）限饲后，3 个限饲组肉鸡的平均日增重显著低于对照组（$P<0.05$）。补偿生长后，各组肉鸡的平均日采食量、平均日增重和料重比均差异不显著（$P>0.05$），但料量限饲组末重显著低于对照组（$P<0.05$）。2）限饲后，料量限饲组肉鸡的全净膛率、半净膛率、胸肌率、腿肌率和腹脂率显著低于对照组（$P<0.05$），料量限饲组、能量限饲组肉鸡的腹脂率显著低于蛋白质限饲组和对照组（$P<0.05$）。补偿生长后，各组肉鸡的胸肌率和腿肌率均无显著差异（$P>0.05$），但料量限饲组肉鸡的腹脂率显著高于对照组（$P<0.05$）。3）限饲后，蛋白质限饲组肉鸡的肝脏指数显著高于其他 3 组（$P<0.05$），料量限饲组肉鸡的胰脏指数显著高于其他 3 组（$P<0.05$）；对照组脾脏指数显著高于其他 3 组（$P<0.05$）。补偿生长后，各组肉鸡的心脏指数、肝脏指数、胰脏指数、脾脏指数、胸腺指数和法氏囊指数均无显著差异（$P>0.05$）。4）限饲后，料量限饲组肉鸡的胫骨重、胫骨长、胫骨直径、股骨重和股骨长显著低于其他 3 组（$P<0.05$），

收稿日期：2017-02-17
基金项目：国家自然科学基金（31372329）
作者简介：杨苏亮（1992—），男，河南辉县人，硕士研究生，动物营养与饲料科学专业。E-mail： 857194221@qq.com
*通信作者：陈　文，教授，硕士生导师，E-mail: cchenwen@aliyun.com

料量限饲组、能量限饲组肉鸡的股骨直径显著低于对照组和蛋白质限饲组（$P<0.05$）。补偿生长后，各组肉鸡的胫骨重、胫骨长、胫骨直径、股骨重、股骨长和股骨直径均无显著差异（$P>0.05$）。由此可见，3 种限饲方法均降低了 AA 肉鸡的平均日增重和部分骨骼性状指标，其中料量限饲组对肉鸡平均日增重和骨骼性状影响最大。经过 21 d 的补偿生长后，3 个限饲组均表现出补偿生长效应，3 个限饲组骨骼性状与对照组无显著差异，但料量限饲法会降低肉鸡全期的平均日增重和末重，建议生产中慎用料量限饲法。

关键词：料量限饲；能量限饲；蛋白质限饲；肉鸡；补偿生长；骨骼性状

中图分类号：S831

现代良种肉鸡在自由采食的情况下，生长过快，容易导致肉鸡代谢紊乱[1-2]、鸡体脂蓄积过多[3]，造成巨大的经济损失。遗传和营养及其互作效应的影响在很大程度上造成这些问题，限饲技术越来越多的应用到肉鸡生产中[4]。大量的肉鸡限饲研究表明，通过限饲肉鸡早期营养素摄入量，可以控制肉鸡的生长发育和体脂沉积[5]，改善肉鸡的胴体质量[6-8]，促进机体器官和骨骼的均衡发育[9-10]，提高肉鸡的饲料转化效率和机体的抗病力[11-13]，降低猝死综合征等的发病率[14-15]，限饲期间造成的体重损失可以通过后期的补偿生长弥补[16-17]。

在肉鸡饲养管理中，常见的限饲途径主要是饲料质量限饲和饲料数量限饲[18]。质量限饲法是通过稀释或减少饲料中某种营养成分含量而不限制饲喂量的限饲方法。数量限饲法是在不限制饲料营养成分含量的情况下，通过减少饲喂量或控制动物采食时间来达到限饲目的方法。

爱拔益佳（AA）肉鸡特点为生长速度快，适应性强，饲料转化率高，发育整齐，胸部、腿部肌肉丰满，屠体品质好。本研究采用料量限饲法、能量限饲法和蛋白质限饲法对 AA 肉鸡早期进行限饲，然后在后期进行补偿生长，旨在研究 3 种限饲方法及补偿生长对 AA 肉鸡生长性能、屠宰性能及骨骼性状的影响，探究限饲和补偿生长技术在肉鸡养殖过程中的应用价值，为限饲技术在肉鸡生产中的广泛应用提供素材和参考。

1 材料与方法

1.1 试验动物与设计

试验选用 500 只快大型 AA 白羽肉鸡（1 日龄鸡苗），饲喂至 7 日龄，选取体重、健康状况相近的肉鸡 80 只，随机分为 4 个组（对照组、料量限饲组、能量限饲组、蛋白质限饲组），每组 20 只（公母各占 1/2），每只鸡放入个体单笼饲养。8~21 日龄，对照组自由采食，能量限饲组、蛋白质限饲组分别限饲 15%能量、15%蛋白质摄入量，料量限饲组为每天 08:00—13:00 让其自由采食，13:00 后撤料，进行总量限饲；22~42 日龄，所有的限饲组鸡只恢复自由采食，进行为期 21 d 的补偿生长。

1.2 试验饲粮

饲粮配方参照我国《鸡饲养标准》NY/T 33—2004，限饲阶段，对照组和料量限饲组参照白羽肉小鸡饲养标准进行配制；能量限饲组配制的饲粮，其代谢能设定为对照组的 85%，其他各营养水平均与对照组相同；蛋白质限饲组配制的饲粮，其粗蛋白质含量设定为对照组的 85%，其他各营养水平均与对照组相同。饲料类型为粉料。对照组、能量限饲组、蛋白质限饲组供给相应饲粮并自由采食，记录其每天采食量；料量限饲组每天 08:00—13:00 进行自由采食，13:00 后撤料并记录每天采食量。补偿生长阶段，试验饲粮参照白羽肉中鸡饲养标准进行配制，对照组和 3 个限饲组饲喂相同的补偿生长饲粮。试验饲粮组成及营养水平见表 1。

表 1 试验饲粮组成及营养水平（风干基础）

Table 1 Composition and nutrient levels of experimental diets (air-dry basis) %

项目 Items	限饲阶段 Feed restriction stage[1)]	补偿生长阶段 Compensatory growth stage[2)]

	对照组和料量限饲组 Control group and feed intake restriction group	能量限饲组 Energy restriction group	蛋白质限饲组 Protein restriction group	对照组、料量限饲组、能量限饲组和蛋白质限饲组 Control group, feed intake restriction group, energy restriction group and protein restriction group
原料 Ingredients				
玉米 Corn	45.25	44.29	53.66	49.64
玉米胚芽粕 Corn germ meal	5.20	16.00	9.00	8.00
大豆油 Soybean oil	6.50	0.40	5.60	6.00
大豆粕 Soybean meal (CP 43%)	36.45	33.43	24.62	30.65
鱼粉 Fish meal (CP 60%)	2.00	1.00	2.00	1.50
石粉 $CaCO_3$	1.26	1.27	1.30	1.19
磷酸氢钙 $CaHPO_4$	1.62	1.80	1.71	1.43
氯化胆碱 Choline chloride	0.26	0.26	0.26	0.20
赖氨酸 Lys		0.07	0.34	
蛋氨酸 Met	0.16	0.18	0.21	0.09
食盐 NaCl	0.30	0.30	0.30	0.30
预混料 Premix[3)]	1.00	1.00	1.00	1.00
合计 Total	100.00	100.00	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels[4)]				
代谢能 ME/（MJ/kg）	12.97	11.05	12.97	12.97
粗蛋白质 CP	22.23	22.28	18.76	20.12
钙 Ca	1.02	1.04	1.02	0.91
总磷 TP	0.73	0.85	0.74	0.70
非植酸磷 NPP	0.45	0.45	0.45	0.40
有效磷 AP	0.44	0.45	0.44	0.41
赖氨酸 Lys	1.22	1.22	1.22	1.07
蛋氨酸 Met	0.50	0.50	0.50	0.40

胱氨酸 Cys	0.35	0.36	0.30	0.33

1)限饲试验为 8 至 21 日龄，共计 14 d。Experiment of feed restriction was 8 to 21 days of age , a total of 14 days.

2)补偿生长试验为 22 至 42 日龄，共计 21 d。Experiment of compensatory growth was 22 to 42 days of age , a total of 21 days.

3)预混料为每千克饲粮提供 The premix provided the following per kg of diets:VA 2 700 IU，VD 3 400 IU，VE 10 IU，VK 0.5 mg，VB_1 2.0 mg，VB 2 5 mg，VB_6 3.0 mg，VB_{12} 0.007 mg，烟酸 nicotinic acid 30 mg，泛酸 pantothenic acid 10 mg，叶酸 folic acid 0.50 mg，生物素 biotin 0.10 mg，胆碱 chloride 750 mg，Cu 8 mg，Zn 80 mg，Fe 80 mg，Mn 80 mg，Se 0.30 mg，I 0.7 mg。

4)粗蛋白质、钙和有效磷为实测值，其他营养水平为计算值。CP, Ca and AP were measured values, while other nutrient levels were calculated values.

1.3 饲养管理

本试验在河南农业大学动物实验房进行，试验鸡均采用单笼饲养。每天 08:00 准时加料，自由饮水，每天 23 h 光照，每周带鸡消毒 2 次，定时打扫鸡舍卫生，控制好鸡只生长所需的温度和湿度，按照 AA 肉鸡的常规免疫程序进行免疫，做好日常记录工作（各组鸡只采食、精神状态等）。

1.4 测定指标及方法

1.4.1 生长性能指标的测定

试验过程中记录试验肉鸡发病死亡情况，统计各组鸡的死亡率。分别在 21（限饲 14 d）、42 日龄（补偿生长 21 d）禁食 8~12 h 后，第 2 天早上空腹称取鸡只体重，根据初重、末重、采食量，计算各阶段鸡只的平均日增重（ADG）、平均日采食量（ADFI）和料重比（F/G）。

1.4.2 屠宰性能指标的测定

在 22（限饲试验结束后）、43 日龄（补偿生长试验结束后）早上，每组随机取 8 只空腹鸡称重后屠宰，无菌条件下取胸肌、腿肌、腹脂（包括腹部脂肪及肌胃外脂肪）、心脏、肝脏、脾脏、胰脏、胸腺、法氏囊组织。称鸡只的半净膛重、全净膛重、胸肌重、腿肌重、腹脂重。计算半净膛率、全净膛率、胸肌率、腿肌率和腹脂率。

半净膛率（%）=（半净膛重/活重）×100；

全净膛率（%）=（全净膛重/活重）×100；

胸肌率（%）=（胸肌重/活重）×100；

腿肌率（%）=（腿肌重/活重）×100；

腹脂率（%）=（腹脂重/活重）×100。

1.4.3　组织器官指数的测定

将 1.4.2 中的 22、43 日龄屠宰的鸡，采集心脏、肝脏、胰脏、脾脏、胸腺、法氏囊称重后，计算心脏指数、肝脏指数、胰脏指数、脾脏指数、胸腺指数和法氏囊指数。

心脏指数（%）=（心脏重/活重）×100；

肝脏指数（%）=（肝脏重/活重）×100；

胰脏指数（%）=（胰脏重/活重）×100；

脾脏指数（%）=（脾脏重/活重）×100；

胸腺指数（%）=（胸腺重/活重）×100；

法氏囊指数（%）=（法氏囊重/活重）×100。

1.4.4　骨骼性状指标的测定

将 1.4.2 中的 22、43 日龄屠宰的鸡，采集胫骨、股骨并称重，用游标卡尺测定长度、直径（最细处）。

1.5　数据处理

试验数据采用 SPSS 19.0 软件中 ANOVA 过程进行单因素方差分析，对限饲组和对照组

的各项指标进行比较，当组间差异显著时，依照 Duncan 氏法对各组平均值进行多重比较。结果以平均值±标准差（mean±SD）表示，以 P<0.05 作为差异显著性判断标准。

2 结　果

2.1 不同限饲方法对 AA 肉鸡生长性能的影响

由表 2 可见，对 AA 肉鸡进行 14 d 的限饲后，对照组、能量限饲组、蛋白质限饲组的平均日采食量无显著差异（P>0.05），但显著高于料量限饲制组（P<0.05）；3 个限饲组的平均日增重显著低于对照组（P<0.05），且料量限饲组显著低于能量限饲组和蛋白质限饲组（P<0.05），能量限饲组和蛋白质限饲组之间差异不显著（P>0.05）；对照组的料重比显著低于 3 个限饲组（P<0.05）。经过 21 d 的补偿生长后，能量限饲组和蛋白质限饲组的末重与对照组差异不显著（P>0.05），但料量限饲组显著低于对照组（P<0.05）；3 个限饲组的平均日采食量、平均日增重和料重比与对照组差异不显著（P>0.05）。通过限饲后再补偿生长的全期试验数据表明，对照组、能量限饲组、蛋白质限饲组间平均日采食量差异不显著（P>0.05），但显著高于料量限饲组（P<0.05）；而料量限饲组、能量限饲组的平均日增重显著低于对照组（P<0.05）；各组间料重比差异不显著（P>0.05）。

表 2　不同限饲方法对 AA 肉鸡生长性能的影响

Table 2　Effects of different feed restriction methods on growth performance of AA chickens

项目 Items		初重 Initial weight/g	末重 Final weight/g	平均日采食量 ADFI/g	平均日增重 ADG/g	料重比 F/G
限饲阶段 Feed restriction stage	对照组 Control group	158.48±4.40	752.81±79.46[a]	62.25±6.78[a]	42.45±5.66[a]	1.44±0.10[a]
	料量限饲组 Feed intake restriction group	159.40±4.17	439.90±56.72[c]	36.85±7.30[b]	19.98±3.90[c]	1.79±0.17[c]
	能量限饲组 Energy restriction group	161.05±5.12	661.52±85.01[b]	65.45±9.08[a]	36.23±6.50[b]	1.72±0.17[bc]
	蛋白质限饲组	160.24±4.09	703.71±100.73[ab]	66.81±7.67[a]	38.47±7.07[b]	1.63±0.16[b]

	Protein restriction group					
补偿阶段 Compensatory growth stage	对照组 Control group	704.70±30.24[a]	2 544.64±245.11[a]	162.49±22.18	88.04±10.77	1.85±0.16
	料量限饲组 Feed intake restriction group	408.80±31.26[c]	2 269.50±260.73[b]	148.28±21.44	86.31±10.88	1.72±0.14
	能量限饲组 Energy restriction group	619.08±81.87[b]	2 371.00±251.20[ab]	161.95±29.08	81.24±14.19	1.74±0.09
	蛋白质限饲组 Protein restriction group	651.15±93.89[ab]	2 403.85±282.66[ab]	149.79±19.81	82.19±12.08	1.75±0.07
全期 The whole period	对照组 Control group	158.38±4.11	2 544.64±245.11[a]	120.98±15.04[a]	68.19±6.95[a]	1.78±0.16
	料量限饲组 Feed intake restriction group	158.92±4.64	2 269.50±260.73[b]	102.21±13.40[b]	59.10±6.49[b]	1.73±0.12
	能量限饲组 Energy restriction group	160.92±5.47	2 371.00±251.20[ab]	122.49±13.97[a]	61.79±5.78[b]	1.83±0.13
	蛋白质限饲组 Protein restriction group	159.46±4.39	2 403.85±282.66[ab]	115.04±13.55[a]	63.52±8.10[ab]	1.79±0.11

同列数据肩标不同小写字母表示差异显著（P<0.05），相同或无字母表示差异不显著（P>0.05）。下表同。

In the same column, values with different small letter superscripts mean significant difference (P<0.05), while with the same or no letter superscripts mean no significant difference (P>0.05). The same as below.

2.2 不同限饲方法对 AA 肉鸡屠宰性能的影响

由表 3 可见，对 AA 肉鸡进行 14 d 的限饲后，能量限饲组、蛋白质限饲组全净膛率、

半净膛率和胸肌率与对照组差异不显著（$P>0.05$），但显著高于料量限饲组（$P<0.05$）；各组之间腿肌率无显著差异（$P>0.05$）；料量限饲组、能量限饲组腹脂率显著低于蛋白质限饲组和对照组（$P<0.05$）。经过 21 d 的补偿生长后，蛋白质限饲组全净膛率显著高于料量限饲组（$P<0.05$）；蛋白质限饲组和对照组半净膛率显著高于料量限饲组、能量限饲组（$P<0.05$）；各组之间胸肌率和腿肌率差异不显著（$P>0.05$），但料量限饲组腹脂率显著高于对照组（$P<0.05$）。

表 3　不同限饲方法对 AA 肉鸡屠宰性能的影响

Table 3　Effects of different feed restriction methods on slaughter performance of AA chickens　%

项目 Items		全净膛率 Eviscerated ratio	半净膛率 Semi-eviscerated ratio	胸肌率 Breast muscle ratio	腿肌率 Leg muscle ratio	腹脂率 Abdominal fat ratio
21 日龄 21-day-old	对照组 Control group	70.55±2.00[a]	85.64±2.35[a]	17.84±1.23[a]	12.66±1.14	0.47±0.20[a]
	料量限饲组 Feed intake restriction group	66.11±0.92[b]	82.76±0.97[b]	14.02±1.14[b]	12.04±1.20	0.21±0.06[b]
	能量限饲组 Energy restriction group	69.89±2.50[a]	85.29±1.53[a]	17.14±0.50[a]	12.63±0.96	0.25±0.12[b]
	蛋白质限饲组 Protein restriction group	71.21±1.44[a]	86.85±0.74[a]	18.20±1.80[a]	12.74±1.19	0.49±0.20[a]
42 日龄 42-day-old	对照组 Control group	78.14±4.63[ab]	89.55±1.14[a]	19.97±0.34	13.08±5.32	1.11±0.18[a]
	料量限饲组 Feed intake restriction group	76.32±1.50[b]	86.81±0.52[b]	19.91±0.60	15.43±1.34	1.43±0.27[b]
	能量限饲组 Energy restriction group	77.32±1.77[ab]	87.34±0.59[b]	20.68±2.44	15.00±1.37	1.32±0.11[ab]
	蛋白质限饲组 Protein restriction group	79.27±1.07[a]	90.10±1.21[a]	21.41±2.25	15.48±0.88	1.25±0.30[ab]

2.3　不同限饲方法对 AA 肉鸡组织器官指数的影响

由表 4 可见，对 AA 肉鸡进行 14 d 的限饲后，能量限饲组心脏指数显著高于蛋白质限饲组（P<0.05）；蛋白质限饲组肝脏指数显著高于其他 3 组（P<0.05）；料量限饲组胰脏指数显著高于其他 3 组（P<0.05）；对照组脾脏指数显著高于其他 3 组（P<0.05）；料量限饲组胸腺指数显著低于对照组和蛋白质限饲组（P<0.05）；能量限饲组法氏囊指数显著高于蛋白限饲组（P<0.05）。经过 21 d 的补偿生长后，各组之间心脏指数、肝脏指数、胰脏指数、脾脏指数、胸腺指数和法氏囊指数均无显著差异（P>0.05）。

表 4　不同限饲方法对 AA 肉鸡组织器官指数的影响

Table 4　Effects of different feed restriction methods on tissues and organs indexes of AA chickens　　%

项目 Items		心脏指数 Heart index	肝脏指数 Liver index	胰脏指数 Pancreas index	脾脏指数 Spleen index	胸腺指数 Thymus index	法氏囊指数 Bursal of Fabricii index
21 日龄 21-day-old	对照组 Control group	0.65±0.04[ab]	2.55±0.19[a]	0.36±0.03[a]	0.12±0.01[a]	0.43±0.14[a]	0.29±0.08[ab]
	料量限饲组 Feed intake restriction group	0.59±0.04[ab]	2.42±0.21[a]	0.46±0.02[b]	0.10±0.01[b]	0.28±0.02[b]	0.31±0.05[ab]
	能量限饲组 Energy restriction group	0.67±0.02[a]	2.32±0.13[a]	0.37±0.07[a]	0.08±0.01[b]	0.34±0.08[ab]	0.33±0.08[a]
	蛋白质限饲组 Protein restriction group	0.52±0.23[b]	3.18±0.64[b]	0.33±0.02[a]	0.09±0.01[b]	0.42±0.12[a]	0.25±0.07[b]
42 日龄 42-day-old	对照组 Control group	0.38±0.08	1.97±0.37	0.21±0.04	0.13±0.02	0.44±0.07	0.11±0.05
	料量限饲组 Feed intake restriction group	0.42±0.07	1.90±0.18	0.21±0.02	0.13±0.03	0.48±0.15	0.09±0.03
	能量限饲组 Energy restriction group	0.38±0.10	1.81±0.24	0.21±0.03	0.13±0.03	0.42±0.12	0.09±0.03
	蛋白质限饲组 Protein restriction group	0.45±0.04	2.10±0.25	0.20±0.02	0.11±0.04	0.42±0.12	0.11±0.01

2.4　不同限饲方法对 AA 肉鸡骨骼性状的影响

由表 5 可见，对 AA 肉鸡进行 14 d 的限饲后，料量限饲组胫骨重和胫骨长显著低于其他 3 组（P<0.05），能量限饲组的胫骨重和胫骨长显著低于对照组（P<0.05），蛋白质限饲组的胫骨长显著低于对照组（P<0.05）；料量限饲组的胫骨直径、股骨重和股骨长显著低于对照组、能量限饲组和蛋白质限饲组（P<0.05）；料量限饲组、能量限饲组股骨直径显著低于对照组和蛋白质限饲组（P<0.05）。经过 21 d 的补偿生长后，各组之间的胫骨重、胫骨长、胫骨直径、股骨重、股骨长、股骨直径均无显著差异（P>0.05）。

表 5　不同限饲方法对 AA 肉鸡骨骼性状的影响

Table 5　Effects of different feed restriction methods on skeletal traits of AA chickens

	项目 Items	胫骨重 Tibia weight/g	胫骨长 Tibia length/mm	胫骨直径 Tibia diameter/mm	股骨重 Femur weight/g	股骨长 Femur length/mm	股骨直径 Femur diameter/mm
21 日龄 21-day-old	对照组 Control group	8.62±1.18[a]	76.25±1.89[a]	4.74±0.46[a]	6.06±0.64[a]	54.87±2.13[a]	6.26±0.67[a]
	料量限饲组 Feed intake restriction group	5.24±0.58[c]	66.18±1.72[c]	3.85±0.60[b]	3.64±0.47[b]	48.57±2.53[b]	4.80±0.71[b]
	能量限饲组 Energy restriction group	7.43±0.61[b]	72.63±2.21[b]	4.52±0.87[a]	5.61±0.62[a]	52.59±1.83[a]	5.28±1.04[b]
	蛋白质限饲组 Protein restriction group	7.55±1.43[ab]	73.28±2.89[b]	5.01±0.32[a]	5.93±0.49[a]	52.68±1.95[a]	6.34±0.63[a]
42 日龄 42-day-old	对照组 Control group	27.99±5.17	111.23±6.09	8.11±0.89	18.34±2.76	75.96±7.29	8.82±1.08
	料量限饲组 Feed intake restriction group	25.84±4.35	108.89±5.70	7.86±0.99	16.04±1.79	67.04±19.84	9.15±1.14
	能量限饲组 Energy restriction group	24.01±3.03	94.23±32.48	7.50±1.21	16.09±2.76	73.31±5.41	8.81±1.26
	蛋白质限饲组 Protein restriction group	23.97±4.37	100.71±24.23	7.12±1.98	16.51±2.12	70.05±16.58	8.22±1.94

3 讨 论

3.1 不同限饲方法对 AA 肉鸡生长性能的影响

在肉鸡饲养管理中，常见的限饲途径主要是限制饲料质量和限制饲料数量[18]。质量限饲法包括能量限饲法和蛋白质限饲法。许多肉鸡限饲研究表明，通过限饲肉鸡早期的营养素摄入量，控制肉鸡的生长发育和体脂沉积，促进肉鸡在早期能够均衡发育[19]，降低腹水综合征、腿病和猝死综合征等的发病率[19]，限饲期间造成的体重损失可以通过后期的补偿生长弥补[16]。本次试验对 AA 肉鸡在 8~21 日龄采用料量、15%能量和 15%蛋白质的限饲，在 22~42 日龄进行补偿生长。结果表明，限饲期间，对照组、能量限饲组、蛋白质限饲组的平均日采食量无显著差异，但显著高于料量限饲组，3 个限饲组平均日增重显著低于对照组，且料量限饲组的平均日增重显著低于能量限饲组和蛋白质限饲组；而对照组的料重比显著低于 3 个限饲组，且料量限饲组的平均日采食量为最低，料重比为最高。而在 22~42 日龄补偿生长后，补偿阶段 3 个限饲组平均日采食量、平均日增重和料重比与对照组差异不显著，其中料量限饲组的料重比为最低。通过限饲-补偿生长的全期试验结果表明，料量限饲组、能量限饲组的平均日增重显著低于对照组，而 4 组间料重比差异不显著，其中料量限饲组的平均日增重和料重比为最低。王佳伟等[20]对 4~8 周龄哈博德母鸡进行 30%能量限饲研究表明，肉鸡 8 周龄的体重、平均日增重显著低于自由采食组。刘路路等[21]对 2~6 周龄的三黄鸡进行 14 d 的限饲，结果表明能量限饲显著降低三黄鸡限饲期生长性能，补偿生长 35 d 后表现出完全补偿生长效应。苏瑛等[22]研究限饲对 AA 肉鸡的生长性能的影响，结果表明在 10~16 日龄，限饲的鸡在生长速率上优于对照组。本试验限饲 7 d 后料重比显著高于对照组，而经过 21 d 的补偿生长后试验组料重比与对照组相比差异不显著，说明适当的限饲可以使肉鸡后期获得足够补偿生长效应，本试验与前人的试验结果基本一致。从试验全期生长性能指标来看，尽管料量限饲组的料重比最低，但料量限饲组的鸡只平均日增重低于对照组 13.33%，出栏体重也显著低于对照组，因此，简单的料量限饲法尽管可以提高饲料报酬，但降低肉鸡

全期的平均日增重和出栏体重，建议生产慎用料量限饲法。

3.2　不同限饲方法对 AA 肉鸡屠宰性能的影响

家禽生产中的胸肌率和腿肌率可以直观反映出家禽的胸部和腿部的产肉能力。本试验结果表明，在限饲结束后，料量限饲组的胸肌率比其他组的要低，经过补偿生长后，3 种限饲方法对肉鸡的胸肌率和腿肌率无显著差别。由此可得料量限饲组在限饲后，其产肉性能不如其他组，经过补偿后 4 个组的胸肌率和腿肌率无显著差别。牛竹叶等[23]对 8 日龄的艾维茵商品代肉仔鸡分别进行 1、2 和 3 d 的 50%料量限饲，结果显示 3 种强度不影响肉仔鸡的屠宰率和胴体肉产量。杨娟萍等[24]对艾微茵肉鸡于 10~20 日龄进行 10%、20%的饲料限饲量，结果显示限饲不影响肉鸡净膛率、胸肌率和腿肌率。吴艳丽等[25]在 AA 肉鸡的 6、9 和 12 日龄开始进行为期 7 d 的 20%的限饲，结果显示早期限饲对 AA 肉鸡的胴体品质无显著影响。腹脂率是反映鸡胴体品质最常用的指标，肉仔鸡腹部脂肪沉积过高时，饲料利用率下降，还增加屠宰加工时的工序，造成经济损失。本试验中，经过限饲后，料量限饲组和能量限饲组的腹脂率比对照组的低，经过补偿后 3 各限饲组的腹脂率比对照组的高，表明限饲鸡恢复自由采食后，为求补偿生长，摄入比对照组更多的食物，脂肪沉积增加。Lippens 等[26]的试验结果也表明，限饲增加肉鸡腹脂率。可见一定范围内的限饲强度及限饲时间对肉鸡胸肌率、腿肌率没有显著影响，但会增加肉鸡腹脂率，本试验结果与前人的研究结果一致。

3.3　不同限饲方法对 AA 肉鸡组织器官指数的影响

动物内脏器官的正常发育是动物体各项生理功能发挥的基础，其脏器指数的高低是该器官代谢是否旺盛、功能是否增强的反映。本试验中，经过 14 d 的限饲，3 个限饲组的组织器官指数与对照组相比有差异显著，但经过 21 d 补偿生长后，3 个限饲组的组织器官指数与对照组差异不显著，表明 3 种限饲方法不影响肉鸡的内脏器官发育。动物免疫器官发育的好坏直接关系到机体免疫应答的强弱，决定着禽类全身的免疫水平。鸡只脾脏指数、胸腺指数和法氏囊指数高，鸡体免疫力高。本试验中，肉鸡 42 日龄的脾脏指数高于 21 日龄的，胸腺指

数和法氏囊指数低于 21 日龄。这与 Yue 等[19]报道随着日龄增加胸腺指数和法氏囊指数降低而脾脏指数增加一致，也与李兰会等[27]研究限饲抑制脾脏指数的增加，抑制胸腺指数和法氏囊指数的降低的结果一致。

3.4　不同限饲方法对 AA 肉鸡骨骼性状的影响

本试验中，经过 14 d 的限饲后，料量限饲组的鸡只的胫骨和股骨生长指标低于其他 3 个组，能量限饲组和蛋白质限饲组的鸡只在股骨和胫骨生长指标之间差异不大，与对照组相比，在股骨指标上无显著差异，说明能量限饲和蛋白质限饲不影响股骨的生长。经过 21 d 补偿生长后，所有组间的胫骨重、胫骨长、胫骨直径、股骨重、股骨长、股骨直径无显著差异，说明这 3 种限饲方法不影响肉鸡的出栏时的骨骼生长状况，这与 Brnuo 等[28]、王玮等[29]关于限饲组胫骨生长与对照组差异不显著的研究不一致。Brnuo 等[28]的限饲试验是从肉仔鸡的 7~14 日龄，限饲自由采食量的 40%，结果表明限饲降低肉鸡胫骨和股骨的生长。王玮等[29]是对 8~14 日龄肉仔鸡进行 10%的能量限饲后，试验组的胫骨生长优于对照组。这可能是由于限饲时间长短、鸡只品种不同所造成的。本试验的 AA 肉仔鸡在补偿生长 21 d 后，42 日龄的肉鸡各组间股骨和胫骨性状无显著差异，说明这 3 种限饲方法不影响肉鸡补偿生长期的骨骼生长状况。

4　结　论

①3 种限饲方法均降低 AA 肉鸡的平均日增重和部分骨骼性状指标，其中，料量限饲组对肉鸡平均日增重和骨骼性状影响最大，蛋白质限饲组对肉鸡平均日增重和骨骼性状影响最低。

②经过 21 d 的补偿生长后，3 个限饲组均表现出补偿生长效应，3 个限饲组组织器官指数、骨骼性状与对照组无显著差异，但料量限饲法会降低肉鸡全期的平均日增重和末重，建议生产慎用料量限饲法。

致谢：感谢河南农业大学牧医工程学院王志祥教授对文稿所提的宝贵意见。

参考文献:

[1] LEESON S,SUMMERS J D.Some nutritional implications of leg problems with poultry[J].British Veterinary Journal,1988,144(1):81–92.

[2] PINCHASOV Y,JENSEN L S.Comparison of physical and chemical means of feed restriction in broiler chicks[J].Poultry Science,1989,68(1):61–69.

[3] YU M W,ROBINSON F E.The Application of short-term feed restriction to broiler chicken production:a review[J].The Journal of Applied Poultry Research,1992,1(1):147–153.

[4] 杨宁.普通高等教育农业部“十二五”规划教材:家禽生产学[M].2 版.北京:中国农业出版社,2010.

[5] SANTOSO U.Effects of early feed restriction on growth,fat accumulation and meat composition in unsexed broiler chickens[J].Asian Australasian Journal of Animal Sciences,2001,14(11):1585–1591.

[6] BENYI K,HABI H.Effects of food restriction during the finishing period on the performance of broiler chickens[J].British Poultry Science,1998,39(3):423–425.

[7] BALOG J M,ANTHONY N B,COOPER M A,et al.Ascites syndrome and related pathologies in feed restricted broilers raised in a hypobaric chamber[J].Poultry Science,2000,79(3):318–323.

[8] SALEH E A,WATKINS S E,WALDROUP A L,et al.Effects of early quantitative feed restriction on live performance and carcass composition of male broilers grown for further processing[J].The Journal of Applied Poultry Research,2005,14(1):87–93.

[9] HANSEN B C,ORTMEYER H K, BODKIN N L.Prevention of obesity in middle-aged monkeys:food intake during body weight clamp[J].Obesity Research,1995,3(2):199S–204S.

[10] 镡龙.限饲对肉鸡的影响[J].中国家禽,2005,27(6):50–52.

[11] GIACHETTO P F,GUERREIRO E N,FERRO J A,et al.Performance and hormonal profile in broiler chickens fed with different energy levels during post restriction period[J].Pesquisa Agropecuaria Brasileira,2003,38(6):697–702.

[12] URDANETA-RINCON M,LEESON S.Quantitative and qualitative feed restriction on growth characteristics of male broiler chickens[J].Poultry Science,2002,81(5):679–688.

[13] 潘家强.早期限饲、肉鸡肺小动脉重构和肺动脉高压综合征关系的研究[D].博士学位论文.南京:南京农业大学,2005.

[14] 栗绍文,王锐,易青松,等.早期限饲对肉鸡心肌易颤性和血清心肌酶活性、电解质水平的影响[J].中国兽医学报,2004,24(1):69–70.

[15] TOTTORI J,YAMAGUCHI R,MURAKAWA Y,et al.The use of feed restriction for mortality control of chickens in broiler farms[J].Avian Diseases,1997,41(2):433–437.

[16] GOVAERTS T,ROOM G,BUYSE J,et al.Early and temporary quantitative food restriction of broiler chickens.2.Effects on allometric growth and growth hormone secretion[J].British Poultry Science,2000,41(3):355–362.

[17] JONES G P D,FARRELL D J.Early-life food restriction of broiler chickens.I.Methods of application,amino acid supplementation and the age at which restrictions should commence[J].British Poultry Science,1992,33(3):579–587.

[18] 张红星,吴宝成.限饲喂饲技术在肉用仔鸡生产中的应用[J].广西畜牧兽医,1996(2):51–54.

[19] 王佳伟,黄艳群,陈文,等.限饲对肉仔鸡生产性能及部分血清生化指标的影响[J].扬州大学学报:农业与生命科学版,2009,30(4): 30–34.

[20] 刘路路,祁东风,闫冰雪,等.能量限饲对三黄鸡补偿生长及肠道结构的影响[J].动物营养学报,2016(1):92–101.

[21] 苏瑛,罗东君,刘俊琼.肉仔鸡早期限饲饲养的研究——限饲对肉仔鸡生产性能、腹脂垫及消化道的影响[J].中国饲料,1996(14):20–23.

[22] 牛竹叶,刘福柱,刘志芳,等.早期限饲对肉仔鸡生产性能与肥度的影响[J].西北农林科技大学学报:自然科学版,2001,29(4):21–23.

[23] 杨娟萍,姚军虎,刘玉瑞,等.限饲对肉鸡生产性能、胴体品质的影响[J].西北农业学报,2007,16(6):51–56.

[24] 吴艳丽,刘福柱,牛竹叶,等.早期限饲开始日龄对肉仔鸡生产性能和胴体品质的影响[J].西北农业学报,2008,17(4):14–18.

[25] LIPPENS M,ROOM G,DE GROOTE G,et al.Early and temporary quantitative food restriction of broiler chickens.1.Effects on performance characteristics,mortality and meat quality[J].British Poultry Science,2000,41(3):343–354.

[26] LI Y,YUAN L X,YANG X J,et al.Effect of early feed restriction on myofibre types and expression of growth-related genes in the gastrocnemius muscle of crossbred broiler chickens[J].British Journal of Nutrition,2007,98(2):310–319.

[27] BRUNO L D G,FURLAN R L,MALHEIROS E B,et al.Influence of early quantitative food restriction on long bone growth at different environmental temperatures in broiler chickens[J].British Poultry Science,2000,41(4):389–394.

[28] 李兰会,赵国先,任志友.早期限饲对肉鸡屠宰性能和免疫器官指数的影响[J].河北农业大学学报,2011,34(5):82–87.

[29] 王玮,杨海明,王志跃,等.早期能量限饲对肉仔鸡生长性能、屠宰性能、内脏器官和胫骨生长的影响[J].中国畜牧兽医,2013,40(10):90–95.

Effects of Different Feed Restriction Methods on Growth Performance, Slaughter Performance and Skeletal Traits of Arbor Acres Chickens[2]

YANG Suliang LI Min XIA Mengfang SHANG Yanhong CHEN Yu LU Binglong HUANG Yanqun CHEN Wen

(*Henan Agricultural University Feed Nutrition Engineering Laboratory of Henan Province*, *Henan Agricultural University National Germplasm Resources Platform for Animals*, *Zhengzhou* 450002, *China*)

Abstract: This experiment was conducted to study the effects of different feed restriction methods on growth performance, slaughter performance and skeletal traits of Arbor Acres (AA) chickens. Eighty 7-day-old AA chickens were fed in our experiment. The chickens were randomly assigned to 4 groups: control group, feed intake restriction group, energy restriction group and protein restriction group, with 20 replicates per group. Eight chickens of each group were selected to slaughter after feed restriction for 14 days (21-day-old) and compensatory growth (after the feed restriction) for 21 days (42-day-old), respectively. The chest muscle weight, leg muscle weight, abdominal fat weight, heart weight, liver weight, spleen weight, thymus weight, bursal weight, leg bone weight, and the length and diameter of the tibia and femur were measured, respectively. The results showed as follows: 1) after feed restriction, the average daily gain of chickens of three restriction groups was significantly lower than that of control group (P<0.05). After compensatory growth, the average daily feed intake, average daily gain and feed to gain ratio had no significant difference among all group (P>0.05), however, the final weight of feed intake restriction group was significantly lower than that of control group (P<0.05). 2) After feed restriction, The eviscerated ratio, semi-eviscerated, breast muscle ratio, leg muscle ratio and abdominal fat ratio of chickens of feed intake restriction group were significantly lower than those of control group (P<0.05), the abdominal fat ratio of chickens of feed intake restriction group and energy restriction group was significantly lower than that of protein restriction group and control group (P<0.05). After compensatory growth, there were no significant differences on breast muscle ratio and leg muscle ratio of chickens among all group (P>0.05), however, the ratio of abdominal fat of feed restriction group was significantly higher than that in the control group (P<0.05). 3) After feed restriction, the liver index of chickens of protein restriction group was significantly higher than that of other three groups (P<0.05), the pancreas index of chickens of feed intake restriction group was significantly higher than that of other three groups (P<0.05), the spleen index of chickens of control group was significantly higher than that of other three groups (P<0.05). After compensatory growth, there were no significant differences on heart index, liver index, pancreas index, spleen index, thymus index and bursal of Fabricii index of chickens among all group (P>0.05). 4) After feed restriction, the tibia weight, tibia length, tibia diameter, femur weight and femur length of chickens of feed intake restriction group were significantly lower than those of

*Corresponding author, professor, E-mail: cchenwen@aliyun.com （责任编辑　武海龙）

other three groups (P<0.05), the femur diameter of chickens of feed intake restriction group and energy restriction group was significantly lower than that of control group and protein restriction group (P<0.05). After compensatory growth, there were no significant differences on tibia weight, tibia length, tibia diameter, femur weight, femur length and femur diameter of chickens among all group (P>0.05). In conclusion, the average daily gain and partial skeletal trait indexes on AA chicken are reduced by three feed restriction methods, and the feed intake restriction group has a greatest influence on average daily gain and skeletal traits of chickens. After 21 days of compensatory growth, the three restriction groups exhibit compensatory growth effects, there are no significant differences on skeletal traits among three restriction groups and control group. However, the average daily gain and final weight are decreased by feed intake restriction method, we suggest that the feed intake restriction method should be used prudently in the actual production.

Key words: feed intake restriction; energy restriction; protein restriction; chickens; compensatory growth; skeletal traits